

Capítulo 5

Tratamento térmico dos materiais metálicos



tratamento térmico é constituído basicamente de aquecimento dos metais a determinada temperatura, seguido de um resfriamento controlado, considerando alguns fatores, tais como: tempo de aquecimento e resfriamento, temperatura (em função do tamanho da peça), profundidade do aquecimento e/ou adição de componentes químicos na superfície da peça, que variam em função do tamanho e da composição química do material da peça e das alterações das propriedades que se deseja.

A definição do tratamento térmico é feita no projeto da peça, com a finalidade da escolha ideal do tratamento e do material que a peça vai conter.

Objetivos dos tratamentos térmicos:

- homogeneizar peças que sofreram aquecimento excessivo, como soldagem e peças brutas de fundição;
- aumento ou diminuição da dureza para diversas aplicações, como melhora na estampabilidade, usinagem ou peças que necessitam melhora na resistência ao desgaste;
- melhora na resistência mecânica;
- melhora na resistência à corrosão;
- melhora na resistência ao calor;
- modificação das propriedades elétricas e magnéticas.

Os tratamentos térmicos podem ser divididos em:

- **Tratamento térmico:** envolve o aquecimento de peças somente com o calor, sem adição de elementos químicos na superfície do aço.
- **Tratamento termoquímico:** além do calor, envolve a adição de elementos químicos na superfície do aço.

5.1 Tratamento térmico

5.1.1 Reozimento

O principal objetivo do reozimento é reduzir a dureza do aço, que pode ter sido causada por tratamentos como: conformação a frio (encruamento), tratamentos térmicos de endurecimento, processos de soldagem, fundição ou outros que geram endurecimento.

O tratamento consiste em elevar a temperatura da peça até a região da austenita e resfriar lentamente. Essa temperatura depende do teor de carbono do material a ser tratado. Os fabricantes sempre indicam a temperatura e a forma de resfriamento necessárias a cada tipo de aço por eles fabricado. Geralmente, para os aços de baixo carbono indica-se o resfriamento com a peça envolvida em areia e para os aços de alto carbono, o resfriamento controlado dentro do forno.

O recozimento altera as propriedades mecânicas e elétricas, assim como a microestrutura. É aplicado quando se deseja melhorar a condição de trabalho como usinagem, estampagem, ou outro tipo de deformação provocada pela queda na dureza e resistência mecânica.

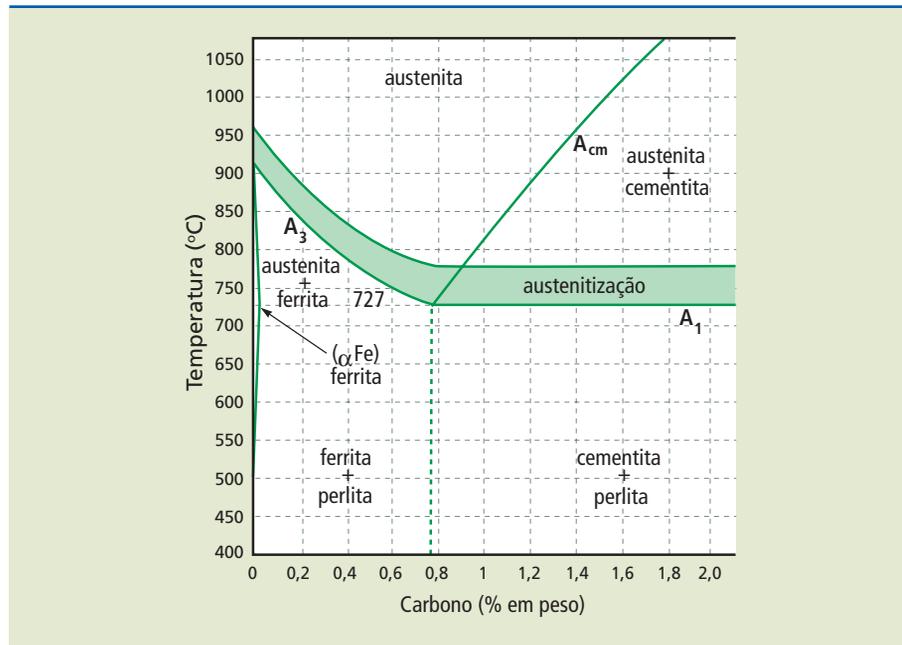
Figura 5.1



©JAN HALASKA / PHOTO RESEARCHERS

Figura 5.2

Temperaturas de austenitização indicadas para recozimento.



Recozimento para alívio de tensões

Esse método consiste no aquecimento do aço a temperaturas abaixo da austenita (figura 5.4). O objetivo é reduzir as tensões originadas durante a solidificação, corte por chama, soldagem ou usinagem, ou qualquer tipo de deformação a frio. Essas tensões começam a ser aliviadas a temperaturas logo acima da ambiente.

Figura 5.3

Corte de aço por chama



CHARLES D'WINTERS / PHOTO RESEARCHERS

Conforme o tipo de aço, varia de 1440 °C a 1530 °C

Esse tratamento gera um rearranjo formando novos cristais, também conhecido como recristalização. A temperatura de aquecimento dever ser de um terço até metade da **temperatura de fusão do aço**.

Para proteger as peças acabadas contra a corrosão e a perda de carbono causadas pela temperatura com o oxigênio da atmosfera do forno, as peças são colocadas em ambientes vedados, para impedir a entrada de oxigênio, ou mergulhadas em banhos de sal, impedindo assim sua oxidação.

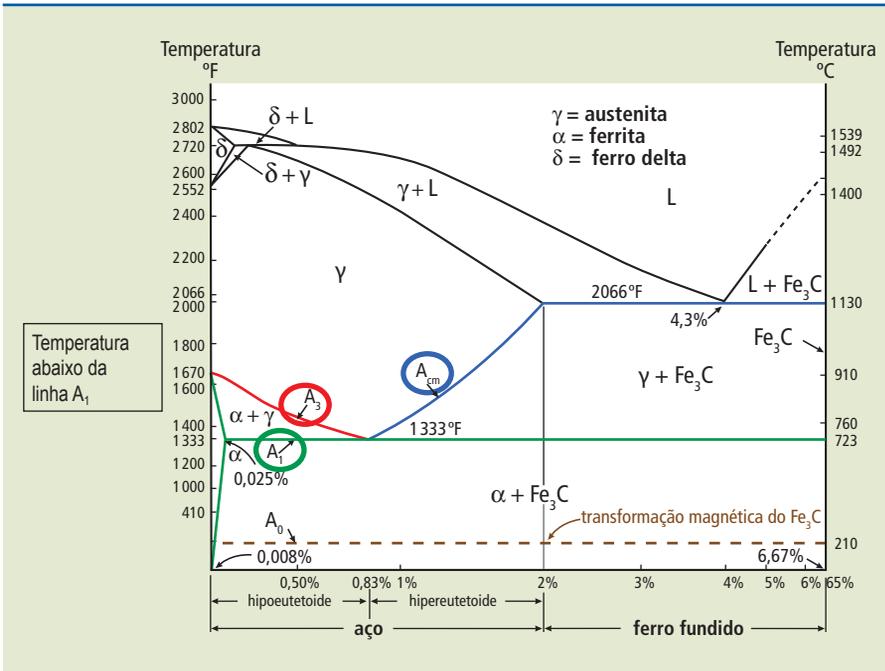


Figura 5.4
Temperaturas de recozimento para alívio de tensões.

Esferoidização

Tratamento também conhecido como coalescimento, consiste no aquecimento próximo da zona crítica. É um tratamento de várias horas dentro do forno e visa amolecer materiais de altos teores de carbono e quebrar as redes de cementitas, deixando as globulares ou esferoidais com uma matriz ferrítica, o que facilita a usinagem e a deformação a frio.

A figura 5.5 mostra a faixa usual de temperatura para esse tratamento.

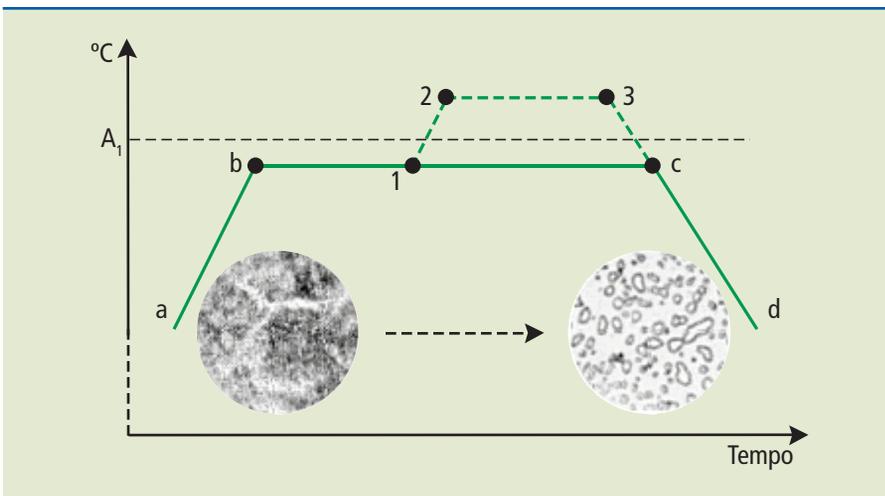


Figura 5.5
Faixa de temperatura de esferoidização.

Para materiais com altos teores de carbono, como o aço 52 100 de elevada dureza, usado na fabricação de rolamentos (figura 5.6), é realizado o tratamento de esferoidização para melhorar a usinagem. Com esse tratamento se reduzem os custos de fabricação com ferramentas de usinagem e os tempos. Depois

de pronta, a peça sofrerá mais um tratamento térmico para endurecer novamente e resistir ao atrito gerado em uso.

Figura 5.6

Rolamentos.



ADDEM DEMIRSHUTTERSTOCK

5.1.2 Normalização

A normalização é um tratamento térmico que consiste no aquecimento do aço até sua completa austenitização, seguido de resfriamento ao ar.

Além de causar melhor uniformidade da estrutura, o objetivo maior da normalização é a homogeneização e o refino do tamanho de grão de estruturas obtidas de trabalho a quente (laminação e forjamento) de aços fundidos e soldagem.

A normalização também é utilizada antes do tratamento térmico para evitar o aparecimento de trincas e empenamento.

Figura 5.7

Laminação do aço.



OLEG - /SHUTTERSTOCK

5.1.3 Têmpera

Antigamente, na fabricação de espadas, por exemplo, o artesão, quando aquecia o metal até que ficasse “avermelhado”, para deformar com maior facilidade (forjar), e logo em seguida o mergulhava na água, estava realizando um tratamento térmico chamado têmpera.

Esse tratamento térmico é geralmente aplicado aos aços com porcentagem igual ou maior do que 0,4% de carbono. Consiste no aquecimento até sua completa austenitização (figura 5.2), seguido de um resfriamento rápido. O resfriamento pode ser na água, salmoura e até mesmo em óleo, que é o de menos severidade. A velocidade de resfriamento, nessas condições, dependerá do tipo de aço, da forma e das dimensões das peças. O resultado é a transformação da austenita em martensita.

O principal objetivo da têmpera é o aumento de dureza. Podem ocorrer também tensões internas, que são eliminadas pelo tratamento térmico de revenimento.

A tabela 5.1 evidencia alguns materiais e a faixa usual de aquecimento para o tratamento de têmpera.

Tabela 5.1

Faixa usual de aquecimento para o tratamento de têmpera.

Material a temperar	Têmpera			
	Temperatura de preaquecimento	Temperatura de têmpera	Cor do material na temperatura	Resfriar em
Aço 1040 a 1050	500 °C	830 °C	Vermelho	Água
Aço 1060 a 1080	500 °C	790 °C	Vermelho escuro	Água ou óleo
Aço 1090	500 °C	775 °C	Vermelho cereja	Óleo
Aço prata	550 °C	800 °C	Vermelho escuro	Óleo
Aço para molas	600 °C	875 °C	Vermelho claro	Óleo
Aço rápido	500 °C a 900 °C	1300 °C	Branco	Óleo

5.1.4 Austêmpera

Esse tratamento térmico é indicado para materiais com altos teores de carbono. A peça austenitizada é resfriada (mergulhada) a aproximadamente 400 °C, em um banho de sal fundido e mantida nessa condição por determinado tempo. Após a formação da estrutura bainítica, a peça é resfriada até a temperatura ambiente, podendo ser resfriada ao ar.

Esse processo vai fornecer ao aço uma dureza inferior à de um material temperado e revenido, porém com tenacidade maior. A microestrutura bainítica pode ser observada na figura 5.8.

Figura 5.8
Microestrutura bainítica.

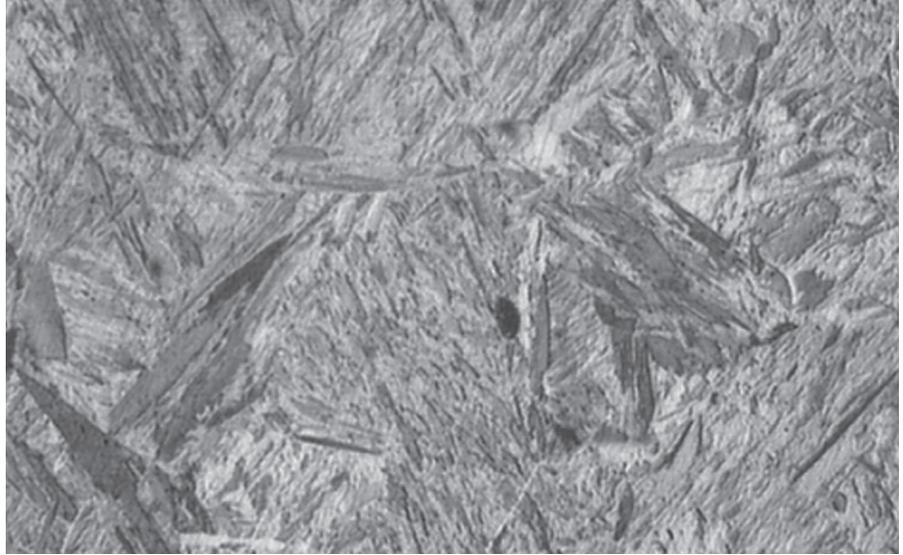
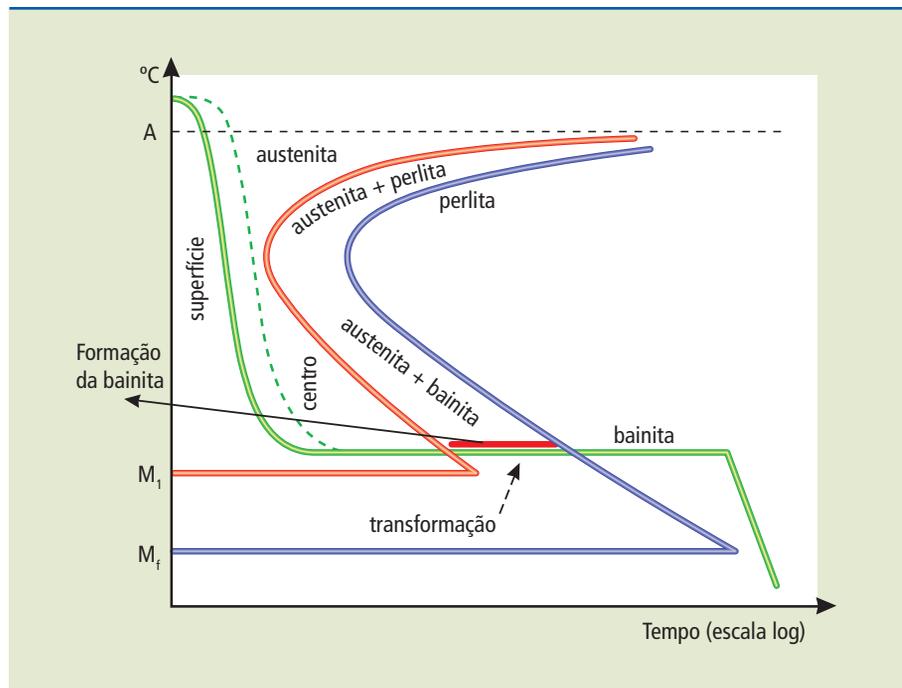


FOTO OBTIDA EM LABORATÓRIO / UNINIEP

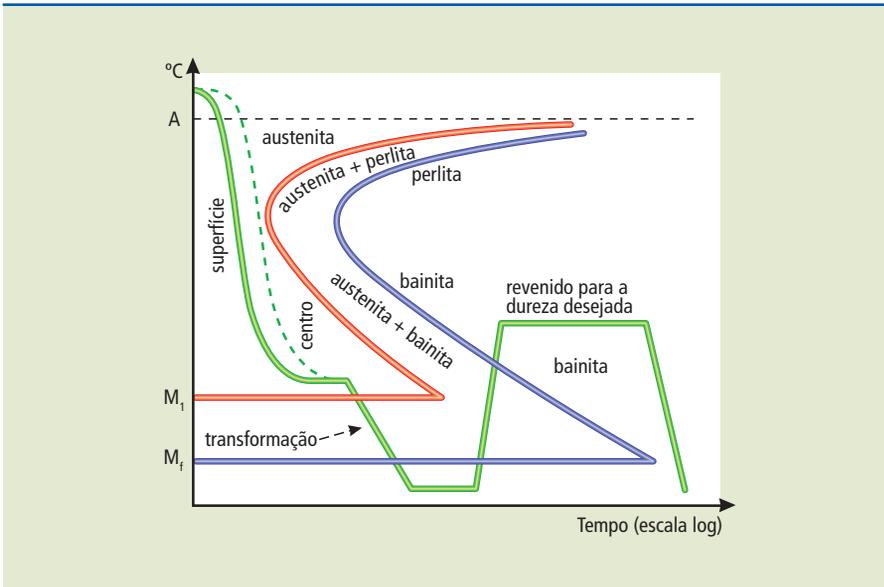
Figura 5.9
Curva de resfriamento obtendo-se bainita.



5.1.5 Martêmpera

Esse tratamento térmico é realizado com uma interrupção no resfriamento, para evitar empenamentos causados por resfriamentos bruscos.

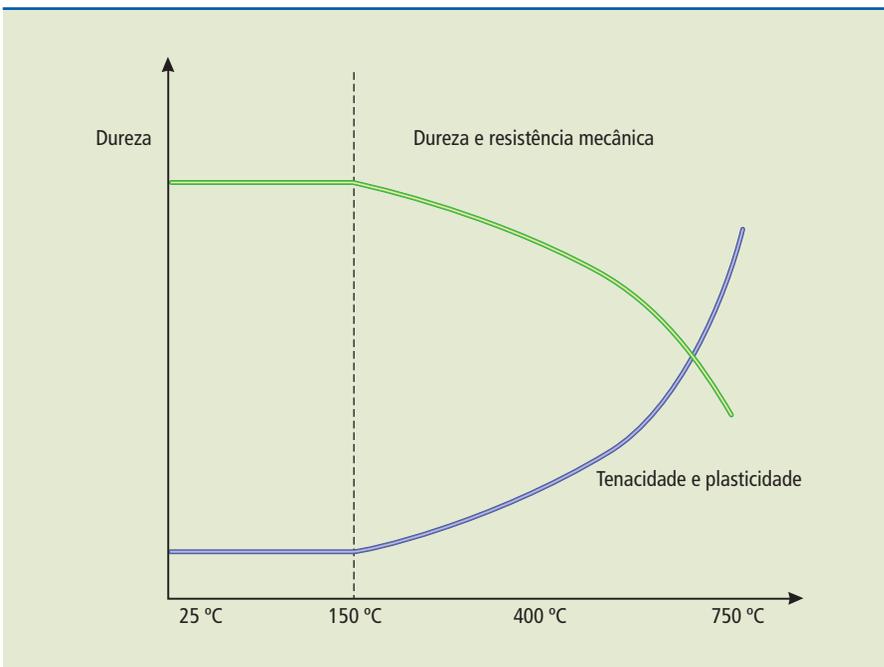
O material é aquecido acima da linha A ou linha crítica, mostrada na figura 5.10. Após o material estar homogenizado na austenita, é resfriado em duas etapas. Depois desse processo, o aço deve ser revenido para retirar quaisquer tensões causadas pelo resfriamento rápido.

**Figura 5.10**

Curva de resfriamento obtendo martensita por meio de martêmpera.

5.1.6 Revenimento

O revenimento é um tratamento térmico realizado após a têmpera. Todo material temperado gera tensões internas que podem provocar trincas, e o revenimento é utilizado para aliviar essas tensões e corrigir a dureza do material.

**Figura 5.11**

Varição das propriedades mecânicas do aço (esquema) em função da temperatura de revenimento.

As faixas de temperatura para revenimento podem variar de 150 °C a 700 °C (figura 5.11). Quanto maior a temperatura, menor a dureza da peça e maior a tenacidade, a capacidade do material em absorver impactos. As indústrias fabricantes de aço fornecem para cada material uma curva de revenimento relacionando dureza com as temperaturas de revenimento.

5.2 Têmpera superficial

A têmpera superficial consiste no aquecimento superficial da peça até certa profundidade. Essa profundidade pode variar com o tempo que a peça fica exposta ao calor e com a intensidade do calor. A região aquecida até a temperatura de austenitização e logo resfriada atingirá a têmpera e será endurecida. O tempo de aquecimento é muito pequeno (alguns segundos), e o resfriamento se dá normalmente em água. O tratamento é indicado para materiais com teor médio de carbono. Ele confere alta resistência e dureza à superfície do material, melhora significativamente a fadiga e a resistência ao desgaste. O núcleo mantém sua tenacidade geralmente alta, e sua microestrutura e suas propriedades não mudam.

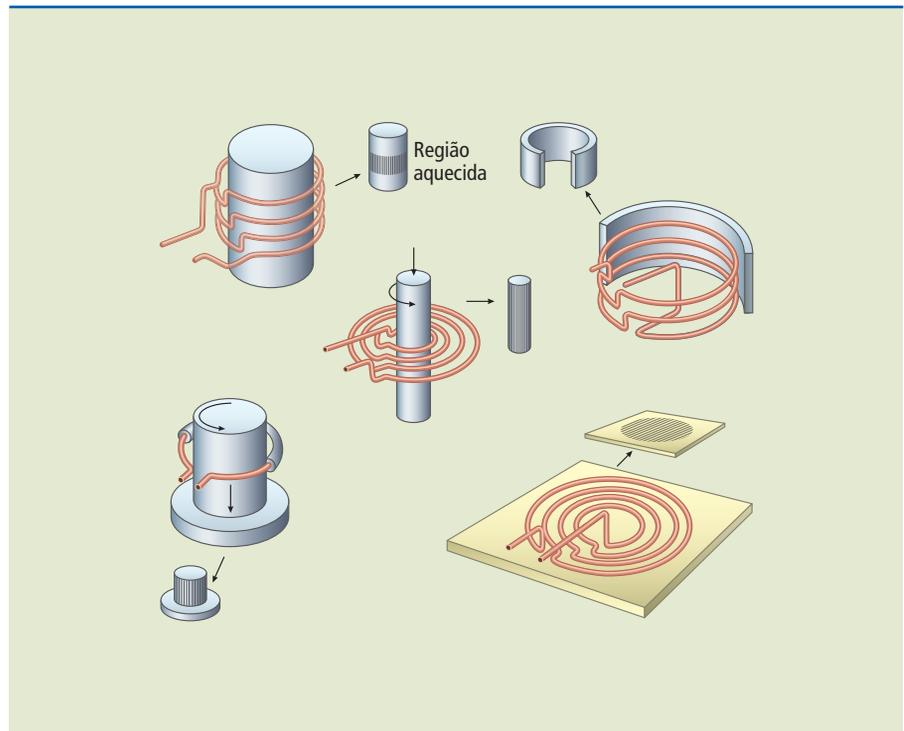
A têmpera superficial é aplicada, por exemplo, em pinos, correntes, ganchos de talhas e engrenagens. Pode ser realizada por dois processos: indução ou chama.

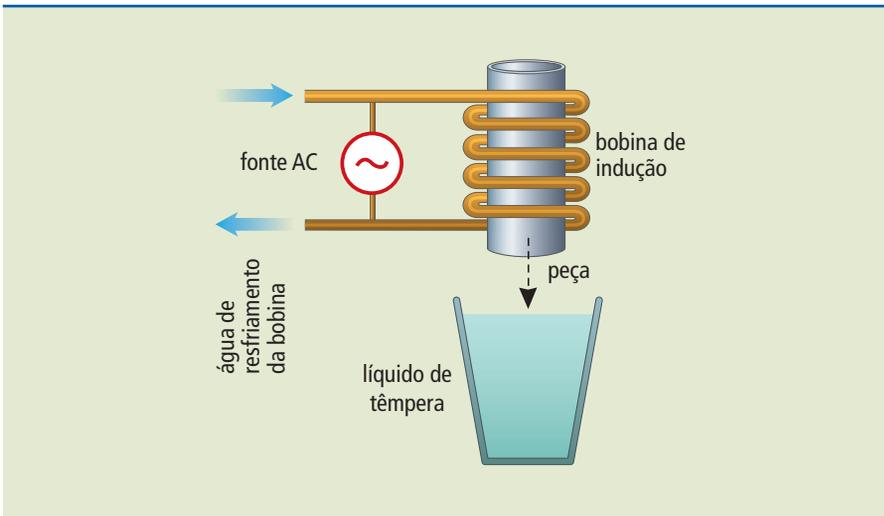
5.2.1 Aquecimento por indutor

Um indutor – que funciona como bobina induzindo a passagem da corrente elétrica – gera altas temperaturas quando um material condutor se aproxima dele. A figura 5.12 mostra exemplos de aquecimento produzido por vários tipos de bobinas.

A corrente induzida em uma peça é máxima na superfície e diminui rapidamente em seu interior. Esse processo é facilmente automatizado para produção de peças em série.

Figura 5.12
Campo magnético e correntes induzidas produzidas por várias bobinas de indução.



**Figura 5.13**

Esquema de têmpera superficial por indução.

5.2.2 Aquecimento por chama

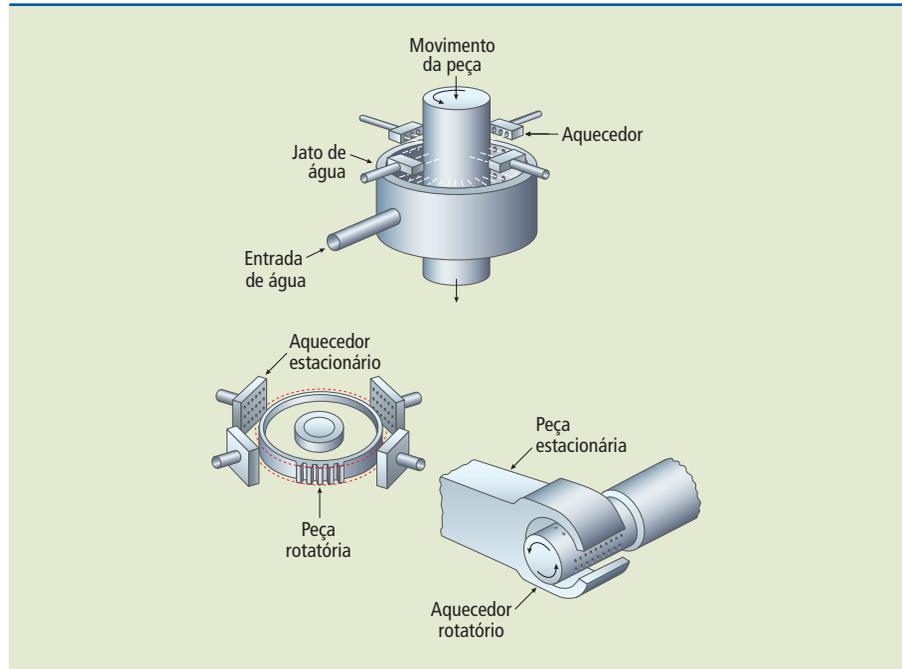
O aquecimento por chama (figuras 5.14 e 5.15) é realizado normalmente por meio de bicos de chama, como um maçarico. Esse aquecimento pode ser feito em parte da peça em que se deseja realizar o tratamento, ou seja, na região da peça cuja superfície se deseja endurecer. Logo após atingir a temperatura adequada de austenitização, a região é resfriada bruscamente, em geral com jatos de água. Nesse processo, a camada endurecida fica mais irregular por causa da dificuldade de manter o aquecimento homogêneo por toda a superfície da peça.

**Figura 5.14**

Engrenagem, tratamento de têmpera superficial e aquecimento por chama.

Figura 5.15

Dispositivos para têmpera superficial por chama.



Vantagens de utilizar o aquecimento por chama:

- tratamento de pequenas regiões que se deseja endurecer;
- adequado para peças muito grandes que necessitam de fornos com alta capacidade;
- utilização de materiais mais baratos, que podem ser endurecidos.

5.3 Tratamentos termoquímicos

Esses tratamentos têm como definição o aquecimento do material a temperaturas adequadas. Com elementos químicos na atmosfera do forno, esse processo produz na peça uma camada fina e dura.

O principal objetivo desse tipo de tratamento é o aumento da dureza e da resistência ao desgaste na superfície, mantendo o núcleo tenaz.

Os processos termoquímicos são classificados em: cementação e nitretação.

5.3.1 Cementação

A cementação é um tratamento termoquímico que visa adicionar carbono na superfície da peça e logo depois resfriá-la bruscamente. Esse tratamento é indicado para materiais com baixo teor de carbono, menor ou igual a 0,25%. Alguns aços mais utilizados são ABNT 1010, ABNT 1020, ABNT 8620, entre outros.

A peça cementada fica com um potencial de carbono na superfície de aproximadamente 0,8% a 0,9%, e o núcleo se mantém conforme a composição química do aço. Após o resfriamento brusco, a superfície com alto teor de carbono obtém altíssima dureza, e o núcleo se mantém tenaz.

A cementação é realizada em peças como engrenagens (figura 5.16), buchas e naquelas em que se deseja alta resistência ao desgaste na superfície e alta tenacidade no núcleo. Exemplo: as engrenagens que compõem o câmbio de um veículo são cementadas, pois, se fossem duras por inteiro, não suportariam arrancadas bruscas.

Em geral, a profundidade de camada cementada não ultrapassa 2 mm. Por ser um processo demorado, a cementação necessita de várias horas de forno.



© JOHN EARLY/TRANS/STOCK/ORBIS

Figura 5.16

Engrenagens de uma caixa de câmbio de automóveis.

Cementação gasosa

Nesse processo, a peça a ser cementada é colocada em um forno com potencial de carbono controlado. Dentro da atmosfera do forno são utilizados gases, como gás natural, propano e, em alguns casos, álcool etílico volatizado. Com o controle desses gases, ocorrem reações nas quais o aço recebe carbono na superfície da peça. A profundidade de camada cementada pode variar de 0,5 a 2,0 mm e depende do tempo de permanência dentro do forno, da temperatura e do potencial de carbono na atmosfera dentro do forno.

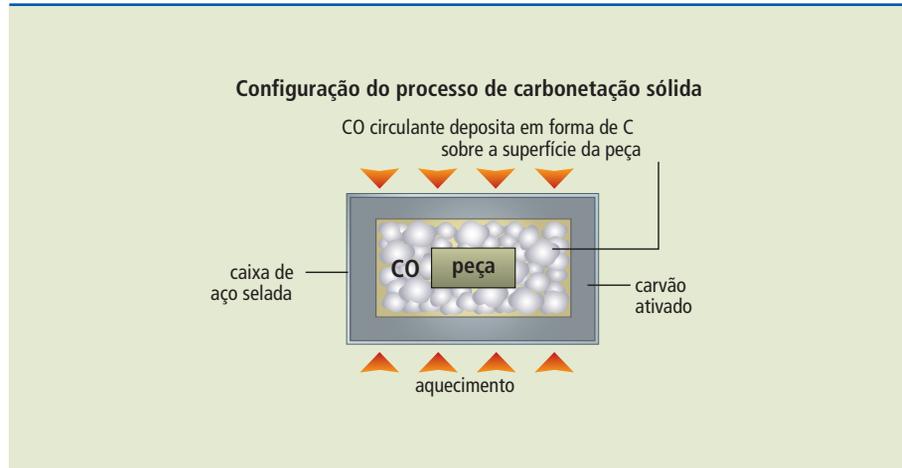
Cementação líquida

Como o nome diz, as peças são mergulhadas em um líquido apropriado para esse tratamento, em geral cianeto de sódio (NaCN), um sal fundido. Assim, combinando a temperatura e o ambiente rico em carbono, ocorre uma reação química e o carbono é adicionado à superfície da peça. Quanto maior o tempo, maior a profundidade da camada cementada. Para esse tratamento, a camada cementada em geral varia de 0,5 a 2,5 mm de profundidade.

Cementação sólida

Nesse processo, as peças a serem cementadas são colocadas em caixas metálicas cobertas com material sólido, carvão de madeira ou coque; em seguida, são levadas ao forno a temperaturas de 815 °C a 955 °C. Nessa atmosfera a que a peça é submetida, o carbono vai penetrando em sua superfície (figura 5.17).

Figura 5.17
Processo de
cementação sólida.



5.3.2 Carbonitreção

A carbonitreção é um processo que introduz carbono e nitrogênio na superfície do material. É semelhante ao processo de cementação a gás, e o gás utilizado é rico em carbono e nitrogênio. É realizado em temperaturas que podem variar de 700 °C a 900 °C, durante um tempo menor que a cementação a gás.

O principal objetivo é formar na peça uma camada extremamente dura, resistente ao desgaste e à fadiga. Por essa camada conter nitrogênio e carbono, o objetivo é alcançado, pois o nitrogênio melhora a temperabilidade dos aços, formando, assim, uma camada mais dura e mais profunda que a cementação.

5.3.3 Nitreção

Nitreção é o tratamento termoquímico de introdução de nitrogênio na superfície da peça por meio de aquecimento, que varia entre 500 °C a 570 °C, com o objetivo de endurecimento superficial. Esse processo gera na peça uma camada fina e extremamente dura.

A nitreção é realizada colocando-se a peça em fornos com temperaturas adequadas e com atmosfera rica em nitrogênio. Desse modo, o nitrogênio atômico se difunde na fase ferrita.

Os aços, após sofrerem esse processo, passam a obter algumas propriedades, como: alta dureza superficial, cerca de 70 HRC, e excelente resistência ao desgaste, à fadiga e à corrosão.

A nitreção apresenta camadas inferiores às cementadas, cerca de 0,015 a 0,9 mm de profundidade, porém com dureza maior. A profundidade depende do tempo, da temperatura e da composição química do aço.

Os aços mais utilizados para a nitreção são os de baixa-liga que contêm certos elementos em sua composição química, como alumínio, cromo, molibdênio e vanádio, formando, assim, os nitretos, conforme sua composição.



5.3.4 Boretação

A boretação consiste basicamente em colocar a peça em contato com um agente borante gasoso, líquido ou sólido – sendo este último o mais utilizado, por ter menor custo – e aquecer a peça a uma temperatura adequada, cerca de 700 °C a 1 000 °C, por aproximadamente 1 a 12 horas.

No aço se forma o boreto de ferro, que é extremamente duro. Nesse processo, a dureza chega a ser maior do que as obtidas nos outros processos de endurecimento superficial e, ainda, apresenta grande resistência à corrosão.



